



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FINOS DE RESÍDUOS DE  
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NAS PROPRIEDADES  
MECÂNICAS DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL**

Eduarda Mocellin Laude

Lajeado, novembro de 2019

Eduarda Mocellin Laude

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FINOS DE RESÍDUOS DE  
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS  
DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, novembro de 2019

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Elis e Luciano, pelo amor, carinho, apoio e incentivo durante todos os momentos de minha vida. Vocês são os maiores exemplos de cidadãos, profissionais e seres humanos que eu poderia ter.

Agradeço à minha amiga e colega Rúbia, por estar ao meu lado desde o início da graduação, fazendo dos meus dias na Univates muito mais leves.

Também quero agradecer ao corpo docente do curso de Engenharia Civil da Univates pela dedicação e pelo conhecimento compartilhado. Em especial, ao professor Me. Rafael Mascolo, meu orientador, por todo auxílio, paciência e disponibilidade ao longo da elaboração deste trabalho.

Agradeço aos funcionários do LATEC, Henrique e Vianeí, pela prestatividade de sempre.

Por fim, agradeço a minha família, amigos e a todos que de alguma forma se fizeram presentes em minha vida ao longo destes anos.

## RESUMO

Os agregados oriundos de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) já estão sendo empregados na produção de concretos, no entanto o uso de materiais finos de agregados reciclados, que são gerados em larga quantia, não são aconselhados na produção de concretos convencionais (CCV) devido à influência direta em algumas das suas propriedades. O concreto autoadensável (CAA) é um concreto especial que contém as seguintes características: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação. Entretanto, para obter essas propriedades é necessário o uso de materiais finos ou adições minerais em sua composição. Por isso, o CAA é considerado uma ótima chance do uso da fração fina dos agregados reciclados. Desta forma, este estudo analisou a influência de dois diferentes tipos de finos de RCD (concreto e material cerâmico), em substituição parcial à areia, no comportamento do CAA em relação às propriedades de autoadensabilidade, mecânicas e de durabilidade. Os resultados do CAA no estado fresco mostraram que todos os concretos são aceitáveis quanto às propriedades de autoadensabilidade, apresentando comportamentos semelhantes nos três traços realizados. Sobre as propriedades mecânicas dos concretos, verificou-se que o CAA de referência atingiu resultados superiores de resistência à compressão e módulo de elasticidade em comparação aos concretos com finos de RCD. Acerca do ensaio de absorção de água por capilaridade, que está diretamente relacionado à durabilidade do concreto, percebeu-se que o CAA de referência obteve melhores resultados (diminuição na taxa de absorção de água) do que os concretos com agregados reciclados.

**Palavras-chave:** Concreto autoadensável. Materiais finos. Resíduos de construção e demolição.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental.....	27
Figura 2 – Ensaio de massa específica do cimento .....	29
Figura 3 – Peneiramento do agregado graúdo.....	30
Figura 4 – Aspecto visual dos finos da areia .....	32
Figura 5 – Britador.....	35
Figura 6 – Aspecto visual dos finos de concreto .....	35
Figura 7 – Aspecto visual dos finos cerâmicos.....	36
Figura 8 – Ensaio de massa específica dos finos de concreto e dos finos cerâmicos .....	36
Figura 9 – Corpos de prova.....	39
Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão.....	40
Figura 11 – Ensaio de módulo de elasticidade.....	41
Figura 12 – Ensaio de absorção por capilaridade .....	42
Figura 13 – Resultados do ensaio de espalhamento .....	45
Figura 14 – Resultados do ensaio do anel J .....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado graúdo .....	31
Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia média).....	33
Gráfico 3 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia fina).....	34
Gráfico 4 – Relação água/cimento dos traços realizados .....	44
Gráfico 5 – Comparativo dos resultados do ensaio de resistência à compressão ....	48
Gráfico 6 – Comparativo dos resultados de módulo de elasticidade.....	49
Gráfico 7 – Comparativo dos resultados de absorção de água por capilaridade .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio do CAA e suas propriedades .....	15
Tabela 2 – Classes de espalhamento (slump-flow) .....	16
Tabela 3 – Classes de viscosidade plástica aparente $t_{500}$ (sob fluxo livre) .....	16
Tabela 4 – Classes de habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre) .....	16
Tabela 5 – Classes de habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado) .....	16
Tabela 6 – Classes de viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado) .....	16
Tabela 7 – Classes de resistência à segregação pela coluna de segregação .....	16
Tabela 8 – Caracterização do CP V – ARI .....	28
Tabela 9 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo .....	30
Tabela 10 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia média) .....	33
Tabela 11 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia fina) .....	33
Tabela 12 – Traços do CAA .....	43
Tabela 13 – Resultados dos ensaios do CAA no estado fresco .....	45
Tabela 14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão .....	47
Tabela 15 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade .....	49

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a/c	Relação água e cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C <sub>3</sub> A	Aluminato tricálcico
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio
CAA	Concreto autoadensável
CCV	Concreto convencional
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CP	Cimento Portland
Cp's	Corpos de prova
C-S-H	Silicato hidratado de cálcio
EFNARC	<i>European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems</i>
LATEC	Laboratório de Tecnologia da Construção
MgO	Óxido de magnésio
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma do Mercosul
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RS	Rio Grande do Sul
SO <sub>3</sub>	Óxido sulfúrico
VMA	Aditivos modificadores de viscosidade



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Delimitações .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Estrutura .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Concreto autoadensável.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1 Concreto autoadensável no estado fresco .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2 Concreto autoadensável no estado endurecido.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3 Materiais constituintes.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3.1 Cimento .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3.2 Agregados.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.3.3 Aditivos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.3.4 Água .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.3.5 Finos ou adições minerais .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Resíduos de construção e demolição .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Concretos com finos de resíduos de construção e demolição.....</b>	<b>24</b>
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.1 Cimento .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2 Agregado graúdo .....</b>	<b>29</b>

3.1.2.1 Determinação granulométrica .....	29
3.1.2.2 Determinação da massa específica e da massa unitária .....	31
3.1.3 Agregado miúdo .....	31
3.1.3.1 Determinação granulométrica .....	32
3.1.3.2 Determinação das massas específicas e das massas unitárias .....	34
3.1.4 Finos de resíduos de construção e demolição .....	34
3.1.5 Aditivo .....	37
3.1.6 Água .....	37
3.2 Traço empregado .....	37
3.3 Ensaios.....	38
3.3.1 Ensaios no estado fresco .....	38
3.3.2 Ensaios no estado endurecido .....	39
3.3.2.1 Resistência à compressão .....	39
3.3.2.2 Módulo de elasticidade .....	40
3.3.2.3 Absorção de água por capilaridade.....	41
 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 43
4.1 Resultados e discussões dos concretos autoadensáveis no estado fresco .....	43
4.2 Resultados e discussões dos concretos autoadensáveis no estado endurecido .....	47
4.2.1 Resistência à compressão .....	47
4.2.2 Módulo de elasticidade .....	49
4.2.3 Absorção de água por capilaridade.....	50
 5 CONCLUSÃO .....	 52
 REFERÊNCIAS.....	 55

## 1 INTRODUÇÃO

O material mais consumido pelo homem, depois da água, é o concreto. Seu índice de consumo é muito maior hoje do que há 50 anos. Estima-se que, na atualidade, 19 milhões de toneladas métricas de concreto são utilizadas anualmente (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Existem ao menos três causas principais que favorecem a grande demanda de concreto na construção civil frente a outros materiais. O primeiro motivo refere-se à excelente resistência do concreto à água, tornando-o ideal para a construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte de água. A segunda razão para o seu uso expressivo é a incomplexidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos por meio de uma diversidade de formas e tamanhos. A terceira causa é o baixo custo e a rápida disponibilidade do material no mercado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A versatilidade presente na indústria da construção civil, atrelada ao amplo número de empregos gerados, de viabilização de moradias, renda e infraestrutura, a faz possuir um papel de destaque na economia. Por outro lado, este setor possui expressivo impacto sobre o meio ambiente em razão do consumo de recursos naturais e da geração de resíduos decorrentes de perdas, desperdícios e demolições (KARPINSKI *et al.*, 2009).

Para Santos (2018), o avanço das atividades do setor da construção civil e seu excessivo índice de perdas faz surgir uma significativa preocupação quanto à geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). No Brasil, esse gerenciamento está

previsto na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307 do ano de 2002, incumbindo aos municípios a definição de uma política municipal para RCD, sendo essencial a reciclagem da fração de origem mineral, já que configura 90% da massa desse resíduo (ÂNGULO, 2005).

Os agregados oriundos de RCD já estão sendo empregados na produção de concretos, no entanto o uso de materiais finos de agregados reciclados, que são gerados em larga quantia, não são recomendados na produção de concretos convencionais (CCV) devido à influência direta em algumas das suas propriedades (SANTOS, 2018).

O concreto autoadensável (CAA) tem como característica possuir uma grande deformabilidade no estado fresco, isto é, pode ser moldado facilmente nas mais variadas formas sob a ação da gravidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008). Porém, para alcançar essa propriedade, o CAA precisa ser dosado com um alto teor de materiais finos. Logo, o concreto autoadensável é considerado uma oportunidade de uso da fração fina dos agregados reciclados, tanto como agente de controle de segregação, quanto na garantia de uma finalidade nobre a esses materiais de pouca demanda no mercado (SANTOS, 2018).

## **1.1 Objetivos**

Os objetivos deste estudo se dividem em geral e específicos e são evidenciados a seguir.

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste estudo é avaliar a influência de dois diferentes tipos de finos de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (concreto e material cerâmico) nas propriedades mecânicas do concreto autoadensável (CAA).

### **1.1.2 Objetivos específicos**

São objetivos específicos deste estudo:

- a) analisar a influência da origem dos finos de RCD (concreto e material cerâmico) no comportamento do CAA quanto às propriedades no estado fresco;
- b) avaliar a influência da origem dos finos de RCD (concreto e material cerâmico) no CAA quanto à durabilidade.

## **1.2 Delimitações**

São delimitações do trabalho:

- a) os agregados de origem natural serão os disponíveis na região;
- b) serão utilizados dois tipos de finos de RCD (concreto e tijolo maciço cerâmico);
- c) será realizado um único traço de referência;
- d) será utilizado um único tipo de aglomerante.

## **1.3 Estrutura**

A estrutura deste estudo foi organizada em cinco capítulos, de modo a melhor apresentar as informações nele contida e viabilizar a compreensão do leitor.

O primeiro capítulo é composto pela introdução onde evidencia-se a importância do tema, também são expostos os objetivos do estudo e as delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a contextualização acerca de alguns conceitos relevantes sobre o concreto autoadensável, relatando seu histórico, sua definição de acordo com normas e autores e as vantagens relacionadas ao seu emprego. São evidenciadas, também, as principais propriedades da sua mistura, no estado fresco e endurecido, bem como os materiais que a compõem e suas características. Ainda no segundo capítulo, expõe-se aspectos importantes sobre os resíduos de construção e demolição e seu emprego nos concretos.

No terceiro capítulo são descritos os materiais necessários para o estudo e seus respectivos ensaios de caracterização. Também são apresentados os ensaios do concreto autoadensável no estado fresco e endurecido.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e as discussões dos ensaios para reconhecimento do desempenho do concreto autoadensável em relação ao estado fresco e endurecido.

Por fim, no quinto capítulo são evidenciadas as considerações finais do estudo realizado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Concreto autoadensável

Em razão da necessidade de estruturas mais duráveis, desenvolveu-se no Japão, na década 1980, o concreto autoadensável (CAA). Inicialmente elaborado pelo Professor Hajime Okamura, este concreto surgiu com características economicamente viáveis e com menor tempo de execução devido à proporção otimizada dos elementos da mistura e da ausência da obrigatoriedade do adensamento (GOMES; BARROS, 2009).

A Norma Brasileira (NBR) 15823/2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define que o concreto autoadensável tem potencial de fluir, autoadensar devido ao seu peso próprio, ocupar a forma e percorrer por embutidos (armaduras, dutos e insertos), à medida que preserva sua homogeneidade (ausência de segregação) nos estágios de mistura, transporte, lançamento e acabamento.

Conforme a *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems* (EFNARC, 2002), o concreto só pode ser considerado autoadensável quando obtiver as seguintes características: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação.

Fluidez é a propriedade que determina a eficácia do CAA de fluir dentro da forma, ocupando todos os espaços. Habilidade passante é a característica que indica a capacidade da mistura de escoar pela forma, deslocando-se por entre as armaduras de aço sem bloqueio do fluxo ou segregação. E resistência à segregação é a

propriedade que faz com que o concreto autoadensável se mantenha coeso ao fluir dentro das formas, passando ou não por obstáculos (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Por meio da utilização do CAA pode-se alcançar diversos ganhos diretos e indiretos, como: a aceleração da construção, devido ao seu rápido lançamento que dispensa o adensamento; a redução da mão-de-obra local, em virtude da eliminação da vibração e da facilidade no espalhamento e nivelamento do concreto; a melhoria no acabamento da superfície; o aumento da durabilidade por ser mais fácil de adensar e descartar, assim, que aconteçam falhas de concretagem e grandes vazios decorrentes de má vibração; a grande liberdade de formas e dimensões; níveis de ruídos reduzidos devido à ausência de vibração; um ambiente de trabalho mais seguro; o ganho ecológico, já que utiliza em sua mistura altos teores de resíduos industriais; e a redução do custo final do concreto e/ou da estrutura (EFNARC, 2002; TUTIKIAN, 2004; TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

### 2.1.1 Concreto autoadensável no estado fresco

De acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2017), o CAA deve considerar os requisitos estabelecidos conforme sua classificação no estado fresco. A sua aceitação no estado fresco tem de ser baseada no mínimo na comprovação das seguintes propriedades: fluidez e viscosidade plástica aparente; e habilidade passante. Na Tabela 1, pode-se observar a propriedade a ser verificada em cada ensaio proposto, conforme Tutikian e Dal Molin (2008). As Tabelas 2 a 7 demonstram a classificação obtida em cada ensaio de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2017).

Tabela 1 – Ensaio do CAA e suas propriedades

Propriedades	Ensaio
Fluidez	Slump flow
Viscosidade plástica	Funil V t500
Habilidade passante	Anel J Caixa L
Resistência à segregação	Coluna de segregação

Fonte: Adaptado pela autora com base em Tutikian e Dal Molin (2008).



Tabela 2 – Classes de espalhamento (slump-flow)

Classe	Espalhamento (mm)	Método de ensaio
SF 1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
SF 2	660 a 750	
SF 3	760 a 850	

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 15823 (ABNT, 2017).

Tabela 3 – Classes de viscosidade plástica aparente  $t_{500}$  (sob fluxo livre)

Classe	$t_{500}$ (s)	Método de ensaio
VS 1	$\leq 2$	ABNT NBR 15823-2
VS 2	$> 2$	

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 15823 (ABNT, 2017).

Tabela 4 – Classes de habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)

Classe	Anel J (mm)	Método de ensaio
PJ 1	0 a 25 com 16 barras de aço	ABNT NBR 15823-3
PJ 2	25 a 50 com 16 barras de aço	

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 15823 (ABNT, 2017).

Tabela 5 – Classes de habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)

Classe	Caixa L (H2/H1)	Método de ensaio
PL 1	$\geq 0,80$ com duas barras de aço	ABNT NBR 15823-4
PL 2	$\geq 0,80$ com três barras de aço	

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 15823 (ABNT, 2017).

Tabela 6 – Classes de viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado)

Classe	Funil V (s)	Método de ensaio
VF 1	$< 9$	ABNT NBR 15823-5
VF 2	9 a 25	

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 15823 (ABNT, 2017).

Tabela 7 – Classes de resistência à segregação pela coluna de segregação

Classe	Coluna de segregação (%)	Método de ensaio
SR 1	$\leq 20$	ABNT NBR 15823-6
SR 2	$\leq 15$	

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 15823 (ABNT, 2017).

O apropriado comportamento do CAA requer misturas com alta fluidez e suficiente viscosidade, com o intuito de garantir um fluxo contínuo e uniforme, preenchendo toda a forma sem apresentar segregação e sem que haja bloqueio entre as armaduras ou ao mover-se por algum obstáculo (GOMES; BARROS, 2009). O CAA deve ser excessivamente fluido, porém, deve ser apto a carregar grandes partículas de agregado graúdo por todo o percurso, ou seja, “deve ser fluido e viscoso simultaneamente, unindo duas propriedades completamente distintas” (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008, p. 41).

A habilidade de passagem é uma propriedade que dificilmente será atendida havendo presença de segregação. Esta característica indica a capacidade do concreto autoadensável de passar pelos obstáculos (armaduras, diminuições de seções e aberturas e seções estreitas) sem obstrução do fluxo (GOMES; BARROS, 2009).

Para o concreto obter a autoadensabilidade adequada é essencial que, além das propriedades supracitadas, tenha uma boa trabalhabilidade da mistura (SANTOS, 2018). A trabalhabilidade do CAA no estado fresco é fundamental para a sua correta aplicação (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

### **2.1.2 Concreto autoadensável no estado endurecido**

O CAA é igual ao CCV no estado endurecido e suas propriedades são resultados das decisões tomadas na dosagem e mistura do material (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Quando dosado com alto consumo de cimento, o CAA poderá ter fissuração devido à retração por secagem e a elevada liberação de calor de hidratação. Caso o teor do aditivo superplastificante for exagerado, o CAA terá sua pega inicial retardada. Se dosado com baixo consumo de agregado graúdo, possuirá um baixo módulo de elasticidade e uma alta probabilidade de retração plástica. No entanto, essas e outras circunstâncias poderão ocorrer com o CAA, o CCV e qualquer outra mistura que obtiver em sua composição cimento Portland (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

A avaliação do CAA no estado endurecido equivale à realizada para o CCV. Logo, suas propriedades são estabelecidas por meio de ensaios de corpos de prova que verificam sua resistência à compressão axial, à tração, à flexão, seu módulo de deformação, sua ascensão capilar e etc. (GOMES apud SANTOS, 2018).

### **2.1.3 Materiais constituintes**

O CAA é um concreto que possui os mesmos componentes que o CCV (cimento, agregados e água), no entanto com maior quantidade de finos (adições minerais quimicamente ativas ou fílers) e de aditivos superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008; GOMES; BARROS, 2009; COUTINHO, 2011; SANTOS, 2018).

A seguir evidenciam-se algumas observações relativas aos materiais empregados na produção do CAA, lembrando que “no estado fresco ele é muito mais sensível às variações de qualidade e uniformidade dos constituintes que o compõem do que o CCV” (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008, p. 28).

#### **2.1.3.1 Cimento**

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008, p. 28), “não existem critérios científicos que especifiquem o cimento mais adequado para o CAA”. Todos os cimentos do tipo Portland podem ser empregados na sua elaboração, sendo que a seleção acertada do tipo de cimento depende das condições específicas de cada finalidade (GOMES; BARROS, 2009; COUTINHO, 2011).

Conforme Santos (2018), os cimentos possuem significativa influência nos parâmetros reológicos do CAA, considerando que estes são controlados, principalmente, pela finura e pela quantidade de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) existente nos cimentos. “Quanto menor for a quantidade de  $C_3A$ , mais fácil será seu controle reológico – bem como o enrijecimento da mistura se dará em um período mais longo” (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008, p. 28). Segundo a EFNARC (2002), o conteúdo de  $C_3A$  superior a 10% pode causar problemas na trabalhabilidade do CAA.

Ainda de acordo com a EFNARC (2002), o teor de cimento consumido recomendado varia de 350 a 450 kg/m<sup>3</sup>. Mais de 500 kg/m<sup>3</sup> de cimento podem ser perigosos e aumentar a retração. Enquanto menos de 350 kg/m<sup>3</sup>, só podem ser adequados com a inclusão de outros finos, como cinzas volantes ou pozolanas.

### **2.1.3.2 Agregados**

Os agregados utilizados no CAA, em geral, têm de atender às mesmas exigências normativas quando empregados no CCV (GOMES; BARROS, 2009). A EFNARC (2002) recomenda que as partículas menores que 0,125 mm sejam consideradas como parte do conteúdo de finos, devido à sua influência na reologia do CAA. Ainda acrescenta que o diâmetro máximo dos agregados graúdos comumente utilizados no CAA é de 16-20 mm, porém partículas de até 40 mm já foram aplicadas.

Em relação ao agregado miúdo, Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que todas as areias são adequadas para a produção do CAA, no entanto as areias naturais são recomendadas por possuírem formato mais arredondado e textura mais lisa, o que influencia diretamente no aumento da fluidez da mistura. Quando mais angulosas forem as partículas, maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, prejudicando a deformabilidade do concreto (OKAMURA; OUCHI apud TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Quanto ao agregado graúdo, sua distribuição granulométrica e sua forma afetam diretamente o fluxo e a capacidade de passagem do CAA. Quanto mais esféricas as partículas do agregado, menos elas causam bloqueio e maior o fluxo devido à redução do atrito interno (EFNARC, 2005).

O CAA deve possuir um baixo volume de agregado graúdo, entre 28% e 35% do volume de concreto, e uma relação de peso agregado graúdo/concreto de 32% a 40%, com proporções aproximadas de 750 kg/m<sup>3</sup> a 920 kg/m<sup>3</sup>. O volume comum de agregado miúdo varia entre 40% e 50% do volume de argamassa, com proporções aproximadas de 710 a 900 kg/m<sup>3</sup> (GOMES; BARROS, 2009, p. 52).

### 2.1.3.3 Aditivos

Um dos diferenciais do CAA para o CCV são os aditivos. Os aditivos superplastificantes e os aditivos modificadores de viscosidade (VMA) são os mais utilizados no CAA (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008; GOMES; BARROS, 2009; SANTOS, 2018).

No CAA, é imprescindível o uso do superplastificante, já que ele é responsável por uma das suas propriedades básicas: a fluidez. Os superplastificantes são desenvolvidos com base em materiais que propiciam reduções de água muito superiores ou trabalhabilidade extrema dos concretos em que são incorporados. Normalmente, são adicionados aos concretos de alto desempenho, quando se é exigida alta fluidez da mistura com baixa relação água/cimento (GOMES; BARROS, 2009).

Os aditivos modificadores de viscosidade são produzidos a partir de polissacarídeos com cadeias poliméricas de alto peso molecular ou de base inorgânica. No momento em que são incorporados ao concreto, melhoram a coesão da massa no estado fresco, inibindo a segregação e restringindo a perda de água por exsudação, o que possibilita a redução dos efeitos negativos da ausência de uniformidade na dosagem da quantia de água e da granulometria dos agregados. Ainda que seu uso não seja essencial no CAA, quando empregado de modo conjunto com os superplastificantes, os VMA possibilitam alcançar misturas estáveis e de alta fluidez (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

### 2.1.3.4 Água

Tutikian e Dal Molin (2008, p. 39) afirmam que “os requisitos de qualidade da água para CAA são os mesmos que para CCV” e Gomes e Barros (2009, p. 63) atentam que a água é “o parâmetro mais importante no controle das propriedades do concreto fresco e endurecido”.

A quantia de água de uma mistura é determinada por fatores, como: propriedades dos agregados, tipo de cimento, quantidade total de partículas finas da mistura, emprego de adições ou aditivos, dentre outros. Sua quantidade é

fragmentada em quatro partes: uma para hidratação do cimento, uma para absorção e adsorção dos agregados e materiais finos, uma para ocupar a porosidade do esqueleto granular e outra para assegurar a fluidez do concreto (GOMES; BARROS, 2009).

#### **2.1.3.5 Finos ou adições minerais**

Uma das principais características do CAA é a sua elevada resistência à segregação, logo para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo é necessário o uso de materiais finos ou adições minerais em sua composição (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Tutikian e Dal Molin (2008) classificam as adições minerais, conforme sua ação físico-química, em dois grandes grupos: adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividade química.

As adições minerais quimicamente ativas podem ser tanto material pozzolânico quanto material cimentante. O material pozzolânico é um material que reage quimicamente com o hidróxido de cálcio –  $\text{Ca(OH)}_2$  –, produto de hidratação do cimento Portland à temperatura ambiente para formar compostos resistentes, são, por exemplo, a cinza volante, a pozzolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e o metacaulim. O material cimentante tem, na sua composição, hidróxido de cálcio, por isso não necessita do  $\text{Ca(OH)}_2$  formado durante a hidratação do cimento Portland para gerar o composto resistente C-S-H (silicato hidratado de cálcio), no entanto, sua auto-hidratação é normalmente lenta e a quantidade de produtos cimentantes formados é insuficiente para fins estruturais, como é o caso da escória de alto-forno. Os CAA podem ser obtidos tanto com adições pozzolânicas quanto com as cimentantes, entretanto as primeiras mostram-se mais efetivas no aumento da coesão, da resistência e da durabilidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

O fíler é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, isto é, sua razão se remete a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. Podem ser materiais naturais ou materiais inorgânicos processados, o fundamental é que possuam uniformidade e, sobretudo, sejam finos. Dentre os mais utilizados no CAA estão: o

calcário e a areia fina, além do pó granítico que vem sendo considerado (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

A EFNARC (2002) classifica as adições conforme suas capacidades reativas com a água. As adições do tipo I (inertes ou semi-inertes) são os fíleres de agregados (calcário, dolomíticos ou graníticos) e pigmentos, as adições do tipo II (pozolânicas) são a cinza volante e a sílica ativa e a adição do tipo III (hidráulica) é a escória de alto-forno. Devido aos requisitos reológicos especiais do CAA, adições inertes e reativas são comumente usadas para melhorar e manter a trabalhabilidade do concreto, bem como para regular o teor de cimento e assim reduzir o calor de hidratação. As adições do tipo III podem melhorar significativamente o desempenho do concreto a longo prazo.

## **2.2 Resíduos de construção e demolição**

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307 do ano de 2002, resíduos da construção civil são os oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os derivados da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, dentre outros, normalmente conhecidos como entulhos de obras, calça ou metralha.

A primeira aplicação do RCD foi registrada após o final da Segunda Guerra Mundial com o intuito de reconstruir as cidades europeias que se encontravam em completa destruição. O entulho resultante foi reaproveitado como agregado para a produção de concreto visando atender à demanda na época (LEVY, 2001).

Ainda que, no Brasil, a produção de concreto com material reciclado não seja algo habitual, percebe-se uma tendência generalizada através da iniciativa privada e do poder público em avaliar e controlar a geração de RCD (LEVY, 2001). Santos (2018) diz que, no nosso país, o ponto de partida da gestão de RCD se deu por meio da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente em 2002, a qual determina diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos.

Conforme a resolução nº 307 do CONAMA (2002), os resíduos podem ser classificados da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONAMA, 2002, p. 572).

De acordo com Ângulo (2005), nas usinas de reciclagem é comum classificar visualmente a fração mineral do RCD. Desse modo, o RCD é dividido em dois tipos: cinza (visualmente predominante de elementos de construção de natureza cimentícia) e vermelho (visualmente predominante de elementos de construção de natureza cerâmica, especialmente do tipo vermelha). O agregado proveniente do RCD mineral cinza costuma ser empregado em calçadas, blocos de concreto e em mobiliários urbanos à base de cimento, já o agregado proveniente do RCD mineral vermelho é aplicado, principalmente, em atividades de pavimentação.

Estima-se que, no Brasil, 65% dos materiais descartados na construção civil são de origem mineral (CABRAL, 2007). Em análise realizada por Lima e Cabral (2013), resultados indicaram que os Resíduos da Construção Civil (RCC) da cidade de Fortaleza/CE compreendem 93,4% de resíduos de classe A, de acordo com a classificação do CONAMA (2002). Devido à composição gravimétrica, pode-se constatar que os RCC de Fortaleza são compostos, em média, por 24,6% de areia e solo, 22% de argamassa, 15,6% de concreto, 14,3% de cerâmica vermelha, 10,4% de tijolo branco, 6,3% de cerâmica de revestimento, dentre outros.

A reciclagem da fração mineral dos RCD inclui os estágios seguintes: britagem (redução das partículas através da ação mecânica externa como força de compressão



ou impacto), peneiramento (separação das partículas por seus tamanhos, podendo ser empregados também classificadores que separam as partículas leves e finas – <0,15 mm – dos agregados reciclados), e catação (normalmente manual e visual, que destaca a fração mineral da não mineral, além da mineral em suas diferentes espécies, podendo esta ser executada anteriormente ou posteriormente a britagem) (SANTOS, 2018).

A etapa de britagem de RCD gera tanto agregados graúdos quanto materiais finos, no entanto estudos sobre o uso de agregados reciclados têm se concentrado na sua fração grossa, ignorando a fração fina (NENO, BRITO E VEIGA, 2014). Sendo que, de acordo com Murtazaev *et al.* (2015), a quantidade de resíduos com tamanho inferior a 0,16 mm, o que o caracteriza de material fino, adquirida no processo de britagem, compreende entre 15 a 25% da massa total dos agregados reciclados.

### **2.3 Concretos com finos de resíduos de construção e demolição**

Os finos são responsáveis pelo controle de segregação e exsudação do CAA, por isso, mesmo que seu emprego não seja aconselhado no concreto convencional, estes têm grande aceitação nos concretos autoadensáveis, pois para que se alcancem as propriedades do mesmo, a presença deste material se faz necessária (SANTOS, 2018).

Ainda de acordo com Santos (2018), a inconstância nas características dos finos de RCD possui significativa influência em relação à aplicação destes em concretos. Desta forma, a sua caracterização é de suma importância na produção de concretos e deve ser fundamentada em parâmetros quanto à origem, forma, textura e granulometria.

Angulo e Figueiredo (2011) também falam sobre a grande variabilidade presente nas propriedades dos agregados de RCD, citam que a composição do agregado muda a cada caçamba e a cada cidade, destacando a necessidade de conhecer a origem do material para controlar as características do concreto.

Acerca da absorção de água dos agregados reciclados, Angulo e Figueiredo (2011) dizem que esta propriedade afeta diretamente a relação água/cimento final do

concreto. Pedrozo (2008) acrescenta que a absorção precisa ser analisada, caso contrário, além da redução da relação  $a/c$ , ocorrerá uma grande redução na trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco.

Para Santos (2018), os concretos mais vulneráveis à absorção de água são os que contêm finos de RCD de origem cerâmica, pois estes têm superior porosidade, o que colabora para uma maior quantidade de água de amassamento, aumentando a relação água/cimento nos traços estabelecidos e expandindo a porosidade do concreto.

Quanto à resistência à compressão, as pesquisas, de modo geral, apontam decréscimo nos resultados dessa propriedade em concretos autoadensáveis produzidos com finos de RCD. Angulo e Figueiredo (2011) contam que a resistência mecânica do concreto com agregados de RCD (porosos) sempre será menor que a do concreto com agregado natural (sem poros). Conforme Evangelista e Brito apud Santos (2018), quando utilizado finos de RCD em substituição, em massa, à areia natural houve uma redução de 30% da resistência do concreto. Carro-López (2015) percebeu um significativo decréscimo na resistência à compressão em misturas de substituição de 50% e 100% e na mistura de substituição de 20% uma redução de menos de 10% nesta propriedade.

Khatib (2005) realizou estudo com agregado reciclado fino de concreto e cerâmico. Ele percebeu uma redução de resistência à compressão de 15 a 30% nas misturas que continham finos de concreto. Por outro lado, quando houve substituição de 50% de agregado miúdo por agregado fino cerâmico, ele notou semelhança nos resultados obtidos com concreto de referência aos 28 dias. Verificou também, que mesmo com 100% de substituição pelo agregado fino cerâmico, a redução na resistência é de apenas 10%.

Santos (2018) constatou que é possível usar finos de RCD no CAA, em substituição ao agregado miúdo natural, sem que haja perda nas resistências à compressão dos concretos aos 28 dias. No entanto, observou influência na origem do material, já que os concretos autoadensáveis com finos cerâmicos mostraram menores valores de resistência à compressão quando comparados aos concretos com finos cimentícios (concreto e argamassa).

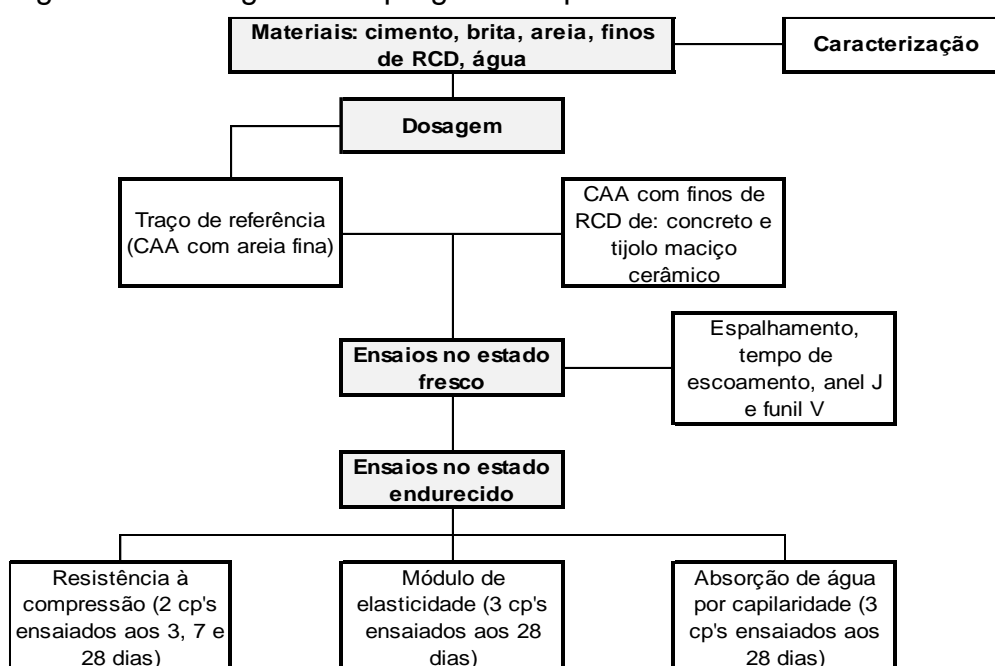
De modo geral, percebe-se que ainda há contrariedades relacionadas a confiabilidade do emprego dos finos de RCD em concretos, em consequência da sua grande variabilidade, carecendo de ser ainda objeto de pesquisa para confirmar e complementar resultados de estudos referentes ao assunto, tornando mais seguro o seu uso em estruturas de concreto (SANTOS, 2018).

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os materiais necessários para a pesquisa e seus respectivos ensaios de caracterização. Também são evidenciados os ensaios para reconhecimento do desempenho do concreto autoadensável em relação ao estado fresco e endurecido. O fluxograma demonstrado na Figura 1 tem o intuito de esclarecer, de modo simplificado, as etapas presentes no trabalho.

Os experimentos necessários para o estudo foram executados no Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC) da Universidade do Vale do Taquari – Univates, localizado em Lajeado (RS), em conformidade com as respectivas normas disponibilizadas pela ABNT.

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Da autora (2019).

### 3.1 Materiais

Nos itens a seguir são apresentados os materiais necessários para o estudo e seus ensaios de caracterização.

#### 3.1.1 Cimento

O cimento utilizado para a produção do concreto foi o do tipo CP V – ARI de Alta Resistência Inicial da marca Itambé. Este cimento foi escolhido dentre os demais por não possuir adições minerais pozolânicas em sua composição, sendo mais eficaz para alcançar os resultados esperados no estudo.

De acordo com a Tabela 8, o CP V – ARI foi caracterizado conforme as normas vigentes. Pode-se verificar que, segundo os resultados disponibilizados pelo fabricante, este cimento atende às especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Tabela 8 – Caracterização do CP V – ARI

Parâmetros	
Tempo de início de pega (horas)	$\geq 1$
MgO (%)	$\leq 6,5$
Perda ao fogo (%)	$\leq 6,5$
Resíduo insolúvel (%)	$\leq 3,5$
SO <sub>3</sub> (%)	$\leq 4,5$
Resistência à compressão (MPa)	
1 dia	$\geq 14$
3 dias	$\geq 24$
7 dias	$\geq 34$
28 dias	-
Adições permitidas (%)	
Escória	0
Fíler calcário	0 a 10
Material pozolânico	0

Fonte: Adaptado de Companhia de Cimento Itambé (2019).

Seguindo os preceitos da NBR 16605 (ABNT, 2017), foi realizado o ensaio de massa específica do cimento, como pode ser visto na Figura 2, o que resultou em uma massa específica de 3,18 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 2 – Ensaio de massa específica do cimento



Fonte: Da autora (2019).

### 3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado para a produção do concreto foi uma brita de origem basáltica do tipo 1, que mede no máximo 19 mm, disponibilizada pelo LATEC.

Para a caracterização do material, foram executados os seguintes ensaios: de granulometria, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003); de massa específica, de acordo com a NBR NM 53 (ABNT, 2009); e de massa unitária, segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

#### 3.1.2.1 Determinação granulométrica

O ensaio para a determinação granulométrica da brita foi executado conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a sua realização, foram utilizadas duas amostras de agregado, com cerca de 2000 g em cada, secas em estufa entre  $105 \pm 5$  °C.

Conforme pode ser visto na Figura 3, as amostras foram, primeiramente, levadas ao agitador mecânico, para facilitar o posterior peneiramento manual.

Figura 3 – Peneiramento do agregado graúdo



Fonte: Da autora (2019).

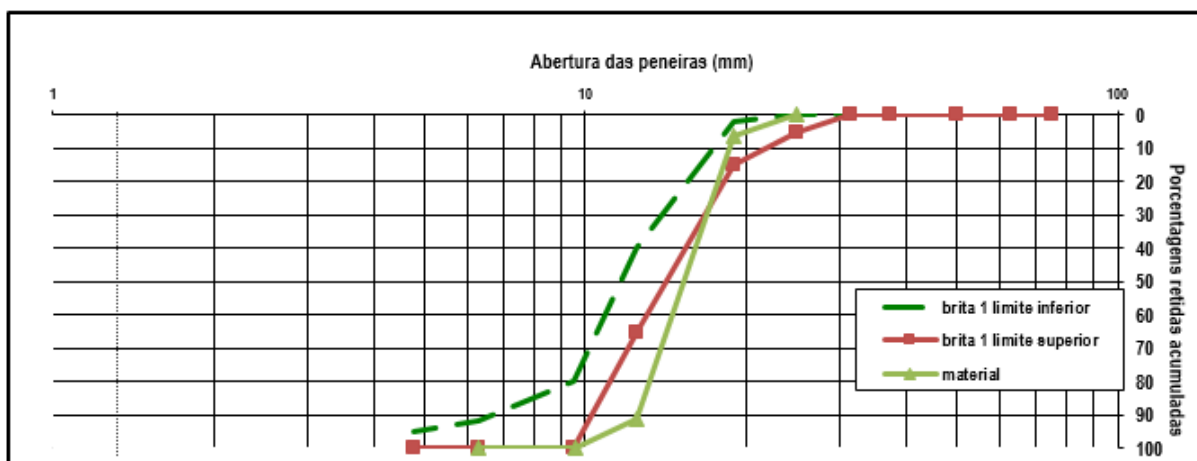
A caracterização granulométrica do agregado graúdo utilizado pode ser observada na Tabela 9 e a sua respectiva curva granulométrica no Gráfico 1. Nota-se que a curva granulométrica da brita empregada se enquadra parcialmente nos limites da brita 1. O ensaio foi realizado mais de uma vez, no entanto em nenhuma houve 100% de concordância com os limites da brita 1.

Tabela 9 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem retida (%)		Retida Variações (%)	Retida Média (%)	Retida Acumulada (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B			
19	130,92	125,72	6,53	6,25	0,27	6,39	6,39
12,50	1683,03	1726,20	83,93	85,88	1,95	84,90	91,30
9,52	184,40	148,97	9,20	7,41	1,78	8,30	99,60
6,30	5,06	6,89	0,25	0,34	0,09	0,30	99,90
4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,90
Fundo	1,91	2,25	0,10	0,11	0,02	0,10	100,00
Total	2005,32	2010,03					

Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Da autora (2019).

### 3.1.2.2 Determinação da massa específica e da massa unitária

O ensaio para a determinação da massa específica da brita foi executado conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2009), para a qual foi encontrado um valor de 2,76 g/cm<sup>3</sup>. Este ensaio presume a relação entre a diferença de massa do agregado diante do comportamento da brita quando submersa, saturada de superfície seca e seca em estufa.

O ensaio para a determinação da massa unitária da brita foi executado de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), para a qual foi encontrado um valor de 1,49 g/cm<sup>3</sup>. Este ensaio prevê a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente conforme o estabelecido na respectiva norma e o volume deste recipiente.

### 3.1.3 Agregado miúdo

A areia utilizada na pesquisa foi uma areia média de origem natural quartzosa também disponível no LATEC. Para a produção do CAA de referência foi empregada uma areia fina, essa passou pelo processo de peneiramento, utilizando apenas a fração de 0,15 mm como material fino, seu aspecto pode ser conferido na Figura 4.



Figura 4 – Aspecto visual dos finos da areia



Fonte: Da autora (2019).

Os ensaios para determinar a faixa granulométrica das areias foram executados conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003), as massas específicas foram determinadas com base na NBR NM 52 (ABNT, 2009) e as massas unitárias segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

#### **3.1.3.1 Determinação granulométrica**

Os ensaios para a determinação granulométrica das areias foram executados conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para realizá-los, foram utilizadas duas amostras de agregado, com cerca de 1000 g em cada, secas em estufa entre  $105 \pm 5$  °C.

Assim como com o agregado graúdo, as amostras das areias foram, primeiramente, levadas ao agitador mecânico, para facilitar o posterior peneiramento manual.

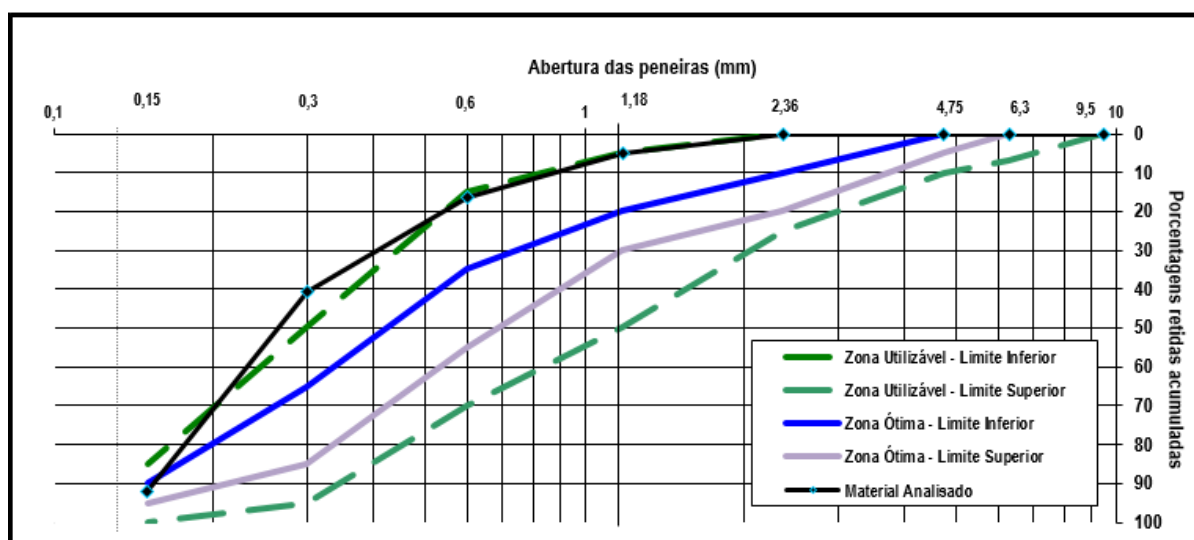
As caracterizações granulométricas dos agregados miúdos utilizados podem ser observadas nas Tabela 10 e 11 e as suas respectivas curvas granulométricas nos Gráficos 2 e 3. Nota-se que as curvas granulométricas da areia média e da areia fina empregadas se enquadram parcialmente na zona utilizável. Os ensaios foram realizados mais de uma vez, no entanto em nenhuma houve 100% de concordância com os limites aceitáveis.

Tabela 10 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia média)

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem retida (%)		Retida Variações (%)	Retida Média (%)	Retida Acumulada (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B			
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,36	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,18	55,00	50,00	5,39	5,00	0,39	5,20	5,20
0,6	120,00	110,00	11,76	11,00	0,76	11,38	16,58
0,3	245,00	240,00	24,02	24,00	0,02	24,01	40,59
0,15	525,00	515,00	51,47	51,50	0,03	51,48	92,07
Fundo	75,00	85,00	7,35	8,50	1,15	7,93	100,00
Total	1020,04	1000,04	Módulo de finura = 1,54 mm			Dimensão máxima = 2,36 mm	

Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia média)



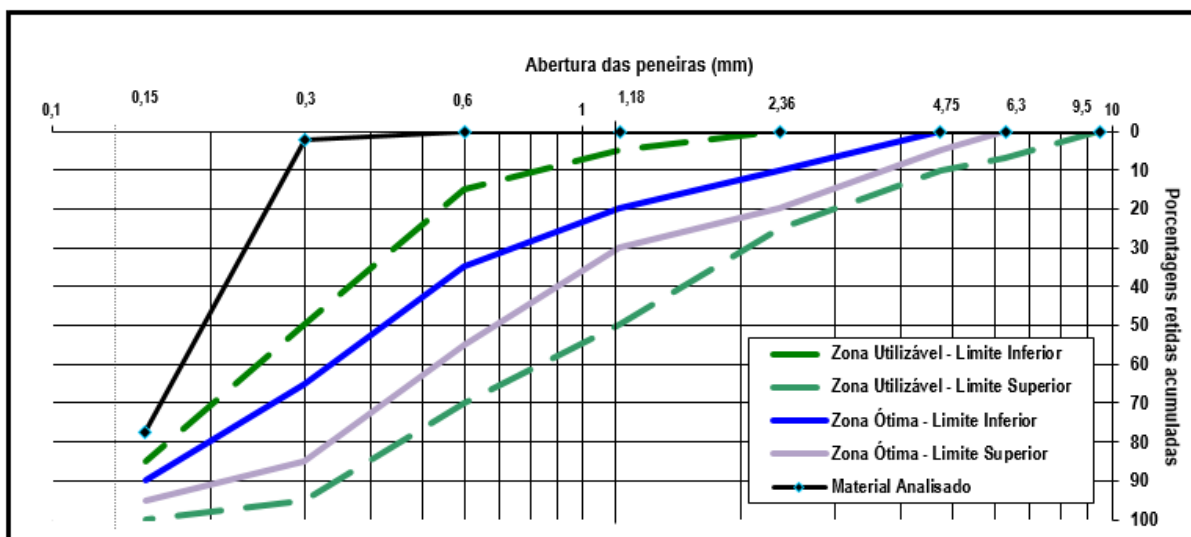
Fonte: Da autora (2019).

Tabela 11 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia fina)

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem retida (%)		Retida Variações (%)	Retida Média (%)	Retida Acumulada (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B			
2,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,18	1,12	2,85	0,11	0,28	0,18	0,20	0,20
0,60	1,59	1,71	0,15	0,17	0,02	0,16	0,36
0,30	23,02	17,85	2,22	1,78	0,44	2,00	2,36
0,15	789,10	742,09	76,11	73,98	2,13	75,04	77,40
Fundo	222,01	238,59	21,41	23,79	2,37	22,60	100,00
Total	1036,84	1003,09	Módulo de finura = 0,80 mm			Dimensão máxima = 1,18 mm	

Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 3 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia fina)



Fonte: Da autora (2019).

### 3.1.3.2 Determinação das massas específicas e das massas unitárias

Os ensaios para a determinação das massas específicas das areias foram executados conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009), para a qual foi encontrado um valor de  $2,51 \text{ g/cm}^3$  para a areia média e um valor de  $2,42 \text{ g/cm}^3$  para a areia fina. Estes parâmetros indicam a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, anulando os poros permeáveis.

Os ensaios para a determinação das massas unitárias das areias foram executados de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), para a qual foi encontrado um valor de  $1,51 \text{ g/cm}^3$  para a areia média e um valor de  $1,43 \text{ g/cm}^3$  para a areia fina. Estes ensaios determinam a relação entre a massa dos agregados lançados no recipiente segundo o estabelecido na respectiva norma e o volume deste recipiente.

### 3.1.4 Finos de resíduos de construção e demolição

Na pesquisa foram utilizados dois diferentes tipos de finos de RCD, de acordo com sua origem, sendo um de origem cimentícia (finos de concreto) e um de origem cerâmica (finos de tijolos maciços cerâmicos), a partir de materiais descartados no LATEC. Estes foram utilizados no estudo em substituição parcial à areia natural média.

O processo de beneficiamento consistiu na britagem dos RCD com o emprego de um britador de mandíbulas (FIGURA 5). Após, o material britado foi peneirado, a fim de se obter apenas o resíduo passante na peneira de 0,15 mm (#100 mesh). O aspecto dos finos de RCD pode ser conferido nas Figuras 6 e 7.

Figura 5 – Britador



Fonte: Da autora (2019).

Figura 6 – Aspecto visual dos finos de concreto



Fonte: Da autora (2019).

Figura 7 – Aspecto visual dos finos cerâmicos



Fonte: Da autora (2019).

Foi realizado o ensaio de massa específica dos resíduos seguindo os preceitos da NBR 16605 (ABNT, 2017), como pode ser visto na Figura 8, obtendo-se um valor de  $2,99 \text{ g/cm}^3$  para os finos de concreto e um valor de  $2,55 \text{ g/cm}^3$  para os finos cerâmicos.

Figura 8 – Ensaio de massa específica dos finos de concreto e dos finos cerâmicos



Fonte: Da autora (2019).

### 3.1.5 Aditivo

O aditivo utilizado no estudo foi o superplastificante Suplast Rodo 520 que confere elevada plasticidade à mistura e é indicado para a obtenção de concretos autoadensáveis. Este produto apresenta-se na forma de um líquido amarelado e o teor recomendado pelo fabricante é de 0,3 a 1,5% sobre a massa de cimento.

### 3.1.6 Água

A água utilizada foi a proveniente da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) disponível no LATEC. Esta água dispensa qualquer tipo de tratamento adicional, visto que não contém impurezas que possam afetar as reações químicas do concreto. Logo, pode-se afirmar que a mesma atende aos requisitos mínimos de qualidade retratados na NBR 15900 (ABNT, 2009).

## 3.2 Traço empregado

Para a pesquisa foram realizadas três diferentes configurações de concreto autoadensável: a de referência de CAA com areia fina e as outras duas de CAA com finos de RCD de concreto e de tijolos maciços cerâmicos.

Santos (2018), em seu estudo, realizou quatro proporções diferentes de relação cimento/agregados secos (1:m), em massa: um traço rico (1:2,5), dois traços intermediários (1:4 e 1:5,5) e um traço pobre (1:7). O traço intermediário de 1:4 apresentou resultados de resistência à compressão que variam de 21,6 MPa a 38,51 MPa, considerados satisfatórios para o estudo em questão. Sendo assim, este foi o traço empregado na realização desta pesquisa. Ainda de acordo com Santos (2018), o teor de argamassa adotado foi o de 55%, com traço de 1:2,57:2,92.

Após a fixação do teor de argamassa, foi definido o teor ideal de aditivo superplastificante nas misturas, o qual foi acertado em relação à massa de cimento, sendo aplicado, a princípio, em pouca quantia até atingir o ponto ideal, visualmente detectado. Chegou-se a um teor de 0,50% de aditivo, o qual foi mantido fixo para todas as configurações de CAA, para tornar possível a comparação dos resultados obtidos.

De maneira a corrigir a segregação e a exsudação expressas nas misturas do concreto, foram adicionados os materiais finos em substituição parcial à areia. Estes variaram de acordo com a necessidade observada durante a dosagem.

Assim como Santos (2018, p. 56), para a definição do teor ideal de finos de cada configuração de CAA, iniciou-se com 10% de substituição da areia, com acréscimo de 5 em 5% “até que os concretos autoadensáveis estivessem fluidos, coesos e não apresentassem segregação, bem como atendessem os limites aceitáveis dos ensaios de caracterização no estado fresco”.

O mesmo método utilizado para os finos foi executado para a quantidade de água. Esta foi adicionada pouco a pouco durante a dosagem, a fim de atingir os resultados de espalhamento de 660 a 750 mm, seguindo a classe de fluidez SF 2 da NBR 15823 (ABNT, 2017) para todas as configurações de CAA.

### **3.3 Ensaios**

Nos itens a seguir são apresentados os ensaios para reconhecimento do desempenho do concreto autoadensável em relação ao estado fresco e endurecido.

#### **3.3.1 Ensaios no estado fresco**

Para o concreto autoadensável no estado fresco foram realizados, de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2017), os seguintes ensaios: espalhamento ou *slump-flow*, tempo de escoamento ( $t_{500}$ ), anel J e funil V. Estes experimentos determinaram a fluidez, a habilidade passante e a viscosidade do CAA.

Ainda no estado fresco, conforme indicado na NBR 5738 (ABNT, 2015), foram moldados 12 corpos de prova de formato cilíndrico de  $10 \pm 0,1$  cm x  $20 \pm 0,2$  cm para cada configuração de CAA, como pode ser observado na Figura 9. Após a moldagem, os corpos de prova de concreto curaram ao ar (entre 24 e 48 horas), posteriormente foram acondicionados em câmara úmida, onde permaneceram até o momento determinado para cada ensaio no estado endurecido.



Figura 9 – Corpos de prova



Fonte: Da autora (2019).

### **3.3.2 Ensaio no estado endurecido**

Para o concreto autoadensável no estado endurecido foram realizados ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade. Nos itens a seguir são descritos os respectivos experimentos.

#### **3.3.2.1 Resistência à compressão**

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). A resistência do concreto foi medida para as idades de 3, 7 e 28 dias, para isso foram utilizados 2 corpos de prova para cada idade de cura adotada.

Conforme a Figura 10, os corpos de prova foram submetidos à ruptura por compressão através de uma prensa hidráulica com capacidade de 2000 kN, modelo SSH300 da Linha PC (prensa de compressão) da marca EMIC.



Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Da autora (2019).

### 3.3.2.2 Módulo de elasticidade

Em conformidade com a NBR 8522 (ABNT, 2017), foi realizado o ensaio de módulo de elasticidade à compressão dos corpos de prova de concreto. O módulo de elasticidade foi medido aos 28 dias e foram utilizados 3 corpos de prova para a idade de cura adotada.

O ensaio ocorreu com a utilização da prensa hidráulica já citada anteriormente que submeteu os corpos de provas a uma série de carregamentos e descarregamentos, também foram aplicados extensômetros com sensores nas faces opostas dos corpos de prova para a determinação das deformações, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 – Ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: Da autora (2019).

### 3.3.2.3 Absorção de água por capilaridade

Seguindo os preceitos normativos definidos na NBR 9779 (ABNT, 2012), foi realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade. A absorção de água por capilaridade foi analisada para 3 corpos de prova na idade de 28 dias.

Os corpos de prova foram colocados em uma estufa até adquirirem massa constante, em seguida foram dispostos sobre uma lâmina d'água de  $5 \pm 1$  mm acima da sua face inferior, conforme a Figura 12, posteriormente foi feita a leitura da massa nos tempos de 3, 6, 24, 48 e 72 h, delimitados pela norma.

Figura 12 – Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Da autora (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões dos ensaios para reconhecimento do desempenho do concreto autoadensável em relação ao estado fresco e endurecido.

### 4.1 Resultados e discussões dos concretos autoadensáveis no estado fresco

Os traços unitários dos concretos autoadensáveis podem ser vistos na Tabela 12, onde na faixa cinza estão os teores considerados ideais de substituição da areia por finos.

Tabela 12 – Traços do CAA

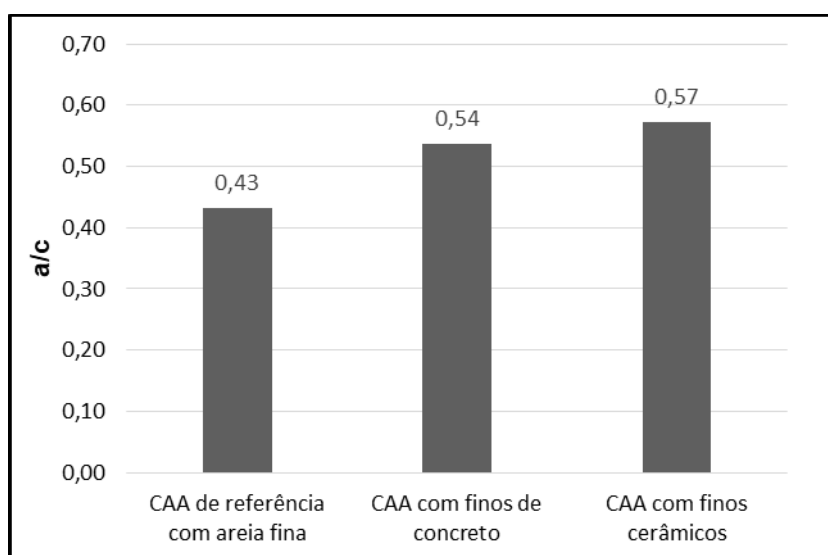
CAA de referência com areia fina							
Substituição de areia por finos (%)	Traço unitário	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Aditivo (%)
0	1: 1,75: 2,25	9,78	0,00	17,11	22,00	4,92	0,5
10	1: 0,17: 1,58: 2,25	10,80	1,80	17,11	24,31		
15	1: 0,25: 1,50: 2,25	11,40	2,84	17,11	25,64		
CAA com finos de concreto							
Substituição de areia por finos (%)	Traço unitário	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Aditivo (%)
0	1: 1,75: 2,25	8,89	0,00	15,56	20,00	5,26	0,5
10	1: 0,17: 1,58: 2,25	9,82	1,63	15,56	22,10		
CAA com finos cerâmicos							
Substituição de areia por finos (%)	Traço unitário	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Aditivo (%)
0	1: 1,75: 2,25	9,78	0,00	17,11	22,00	6,17	0,5
10	1: 0,17: 1,58: 2,25	10,80	1,80	17,11	24,29		

Fonte: Da autora (2019).

Com base na dosagem efetuada, nota-se que o CAA de referência carece de maior teor de finos para atingir as propriedades de autoadensabilidade quando comparado às configurações de CAA com finos de RCD. Enquanto o concreto de referência necessita de 15% de substituição da areia por material fino, os concretos com RCD atingem as propriedades de autoadensabilidade apenas com 10% de substituição.

Acerca da quantidade de água adicionada às misturas, percebe-se que o CAA de referência necessita de uma menor quantidade, por outro lado, o CAA com finos cerâmicos carece de uma maior demanda de água dentre as demais configurações. O Gráfico 4 representa a relação água/cimento dos traços realizados.

Gráfico 4 – Relação água/cimento dos traços realizados



Fonte: Da autora (2019).

De acordo com Santos (2018), o concreto de referência possui a menor relação a/c em razão da maior granulometria e forma arredondada dos grãos da areia. Quanto mais esféricas as partículas do agregado, menor é o bloqueio causado e maior é o fluxo, por isso da necessidade de uma menor demanda de água para propiciar a mobilidade da mistura (EFNARC, 2005; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Em contrapartida, devido à superior porosidade dos finos de origem cerâmica, o concreto com RCD de finos cerâmicos necessita de uma maior quantidade de água de amassamento, aumentando a relação a/c.

Na Tabela 13 é possível observar as classificações dos concretos autoadensáveis, definidas pela NBR 15823 (ABNT, 2017), obtidas através dos ensaios de espalhamento ou *slump-flow*, tempo de escoamento ( $t_{500}$ ), anel J e funil V. Os resultados dos ensaios do CAA no estado fresco mostram que todos os concretos são aceitáveis quanto às propriedades de autoadensabilidade.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios do CAA no estado fresco

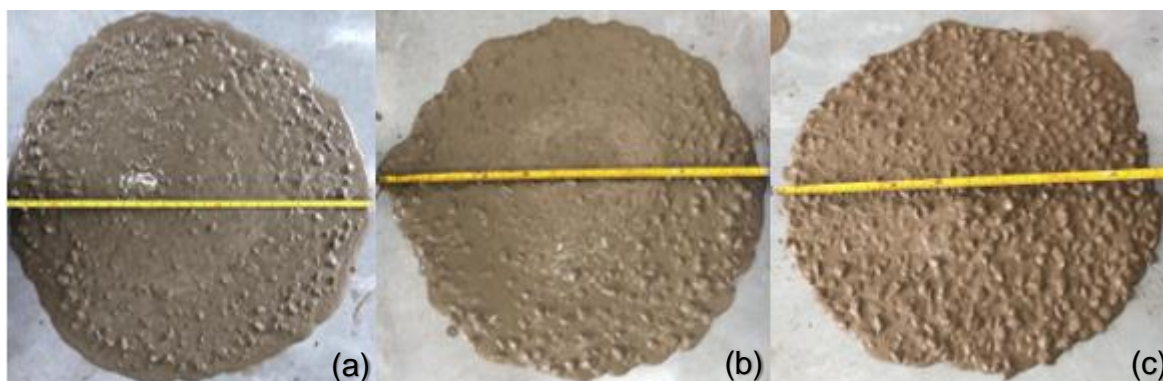
Configuração	Espalhamento		Tempo de escoamento		Anel J		Funil V	
	(mm)	classe	(s)	classe	(mm)	classe	(s)	classe
Areia	700	SF 2	1,84	VS 1	40	PJ 2	6,22	VF 1
Concreto	740	SF 2	1,00	VS 1	50	PJ 2	2,22	VF 1
Cerâmico	670	SF 2	1,10	VS 1	40	PJ 2	10,65	VF 2

Fonte: Da autora (2019).

Em relação ao ensaio de espalhamento, que mede a fluidez do concreto, as três configurações de CAA classificaram-se como SF 2 (660 a 750 mm), o que, de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2017), caracteriza a sua adequação para a maioria das aplicações correntes. Através dos resultados obtidos, pode-se perceber que o CAA com RCD de concreto obteve um maior espalhamento quando comparado aos demais traços, caracterizando uma mistura mais fluida.

Na Figura 13 é possível observar os resultados do ensaio de espalhamento para cada traço, sendo que a Figura 13 (a) refere-se ao CAA de referência, a Figura 13 (b) evidencia o CAA com RCD de concreto e a Figura 13 (c) relaciona-se ao CAA com RCD cerâmico.

Figura 13 – Resultados do ensaio de espalhamento



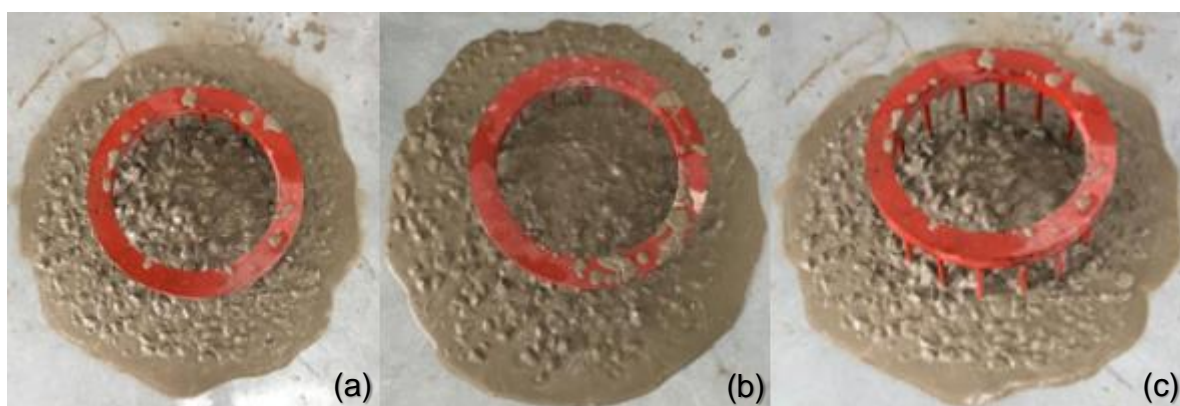
Fonte: Da autora (2019).

Acerca do tempo de escoamento, que mede a viscosidade do concreto, os três traços classificaram-se como VS 1, o que quer dizer que todas as misturas obtiveram um tempo de escoamento inferior a 2 segundos, o que, segundo a NBR 15823 (ABNT, 2017), caracteriza a sua adequação para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, porém requer controle da exsudação e da segregação.

A classe de habilidade passante foi definida através do ensaio do anel J, onde pôde-se constatar que todas as configurações de CAA enquadraram-se na classe PJ 2 (25 a 50 mm com 16 barras de aço), o que, conforme a NBR 15823 (ABNT, 2017), caracteriza a sua adequação para a maioria das aplicações correntes, com elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 a 80 mm. Avaliando a habilidade do concreto de cruzar pelas armaduras, simulando um contexto real, constatou-se que o CAA com RCD de concreto obteve uma maior resistência à passagem pelas barras de aço do que os demais traços, entretanto nenhuma mistura obteve dificuldade de passagem.

Na Figura 14 é possível observar os resultados do ensaio do anel J para cada traço, sendo que a Figura 14 (a) refere-se ao CAA de referência, a Figura 14 (b) evidencia o CAA com RCD de concreto e a Figura 14 (c) relaciona-se ao CAA com RCD cerâmico.

Figura 13 – Resultados do ensaio do anel J



Fonte: Da autora (2019).

A classe de viscosidade plástica aparente do CAA foi determinada por meio do ensaio do funil V. O CAA de referência e o CAA com RCD de concreto enquadraram-se na classe VF 1, pois apresentaram um tempo inferior a 9 segundos, o que quer dizer, conforme a NBR 15823 (ABNT, 2017), que os concretos são adequados para



elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos e em concretagens efetuadas no ponto mais alto com deslocamento livre. O CAA com RCD cerâmico classificou-se como VF 2, já que apresentou um tempo entre 9 e 25 segundos, o que, conforme a NBR 15823 (ABNT, 2017), caracteriza a sua adequação para a maioria das aplicações correntes.

## 4.2 Resultados e discussões dos concretos autoadensáveis no estado endurecido

Nos itens a seguir são apresentados os resultados e as discussões dos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade.

### 4.2.1 Resistência à compressão

Na Tabela 14 é possível observar a resistência à compressão axial das três configurações de concreto realizadas nas idades de ruptura de 3, 7 e 28 dias. Também são apresentados os valores de desvio padrão e os coeficientes de variação. O Gráfico 5 evidencia a comparação dos resultados de resistência obtidos.

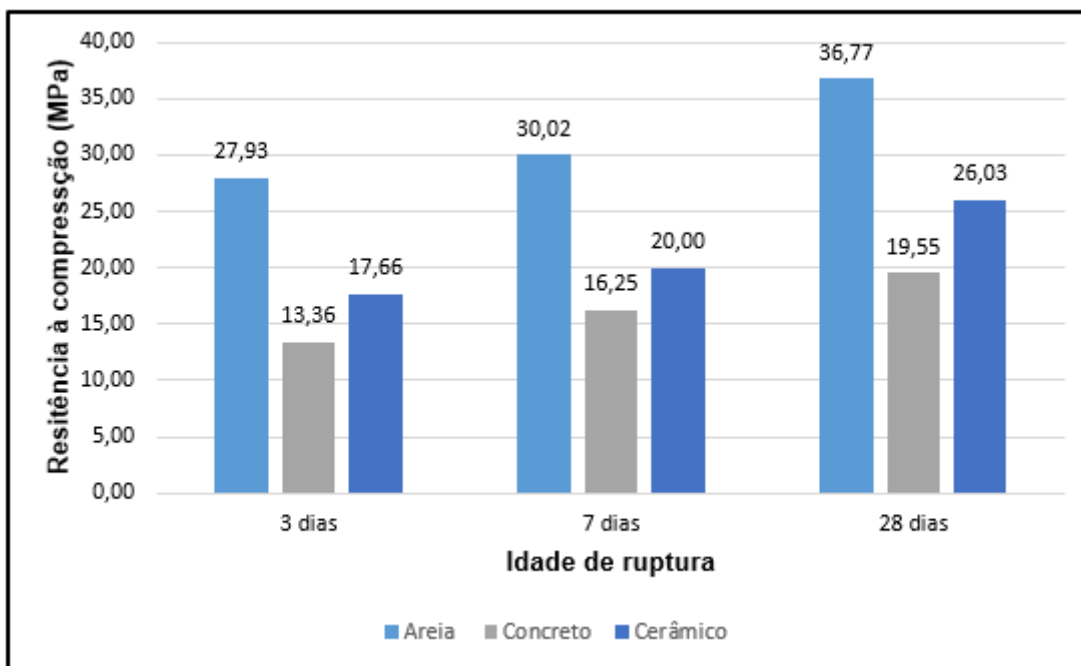
Tabela 14 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Configuração	Idade de Ruptura	Nº de amostras	F <sub>c</sub> (MPa)	F <sub>méd</sub> (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de variação
Areia	3 dias	CP1	27,1	27,93	1,17	4,20%
		CP2	28,76			
	7 dias	CP1	31,07	30,02	1,48	4,95%
		CP2	28,97			
	28 dias	CP1	37,83	36,77	1,51	4,10%
		CP2	35,7			
Concreto	3 dias	CP1	12,85	13,36	0,71	5,35%
		CP2	13,86			
	7 dias	CP1	16,45	16,25	0,28	1,74%
		CP2	16,05			
	28 dias	CP1	19,83	19,55	0,40	2,03%
		CP2	19,27			
Cerâmico	3 dias	CP1	16,79	17,66	1,23	6,97%
		CP2	18,53			
	7 dias	CP1	19,3	20,00	0,98	4,92%
		CP2	20,69			
	28 dias	CP1	25,79	26,03	0,33	1,28%
		CP2	26,26			

Fonte: Da autora (2019).



Gráfico 5 – Comparativo dos resultados do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Da autora (2019).

A partir dos resultados evidenciados, nota-se que houve um aumento de resistência à compressão em todas as configurações de concreto de 3 para 28 dias, no entanto este efeito já era previsto devido ao comportamento de desenvolvimento de resistência mecânica de misturas de cimento Portland.

Com base nos dados apresentados no Gráfico 5, observa-se que o CAA de referência obteve resultados superiores de resistência em comparação aos concretos com finos de RCD. Conforme Santos (2018), a literatura, de um modo geral, indica a redução na resistência à compressão dos concretos autoadensáveis preparados com agregados reciclados em substituição à areia. Angulo e Figueiredo (2011), por exemplo, relacionam este decréscimo de resistência mecânica dos concretos com a porosidade que os agregados reciclados apresentam.

Comparando as configurações de concreto com agregados reciclados, aquele com finos cerâmicos alcançou resultados superiores de resistência à compressão. Em seu estudo, Khatib (2005) notou uma redução de resistência nas misturas que continham finos de concreto em substituição ao agregado miúdo natural, no entanto, quando houve substituição por agregado fino cerâmico, ele notou semelhança nos resultados obtidos com o concreto de referência.

#### 4.2.2 Módulo de elasticidade

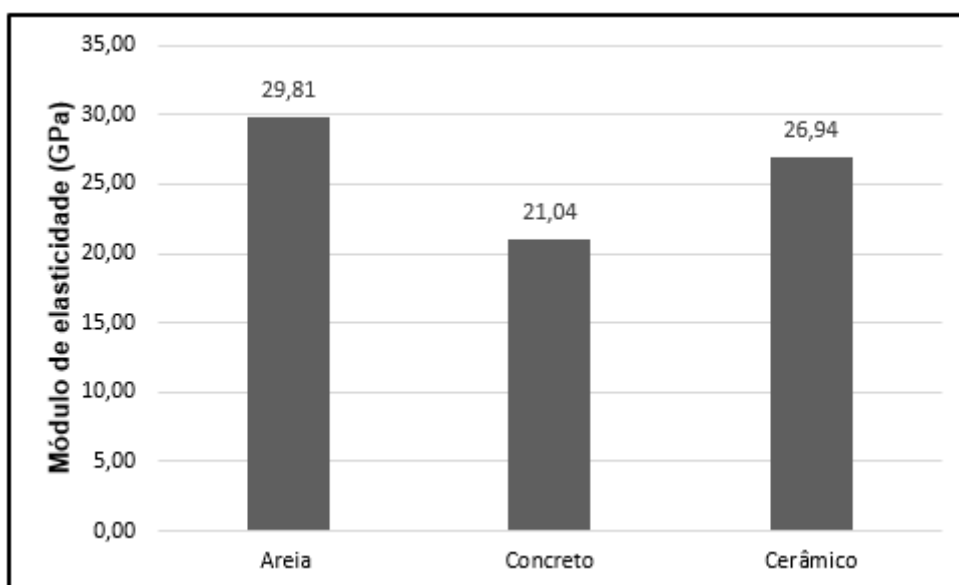
Na Tabela 15 é possível observar o módulo de elasticidade das três configurações de concreto realizadas na idade de ruptura de 28 dias. Também são indicados os valores de desvio padrão e os coeficientes de variação. O Gráfico 6 mostra a comparação dos resultados de módulo de elasticidade alcançados.

Tabela 15 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade

Configuração	Nº de amostras	E (GPa)	Eméd (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	Coeficiente de variação
Areia	CP1	29,59	29,81	1,42	4,76%
	CP2	31,32			
	CP3	28,51			
Concreto	CP1	18,16	21,04	2,71	12,88%
	CP2	23,54			
	CP3	21,43			
Cerâmico	CP1	26,94	26,94	0,52	1,91%
	CP2	27,45			
	CP3	26,42			

Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 6 – Comparativo dos resultados de módulo de elasticidade



Fonte: Da autora (2019).

A partir dos dados apresentados no Gráfico 6, nota-se que o CAA de referência atingiu resultados superiores de módulo de elasticidade em relação aos concretos

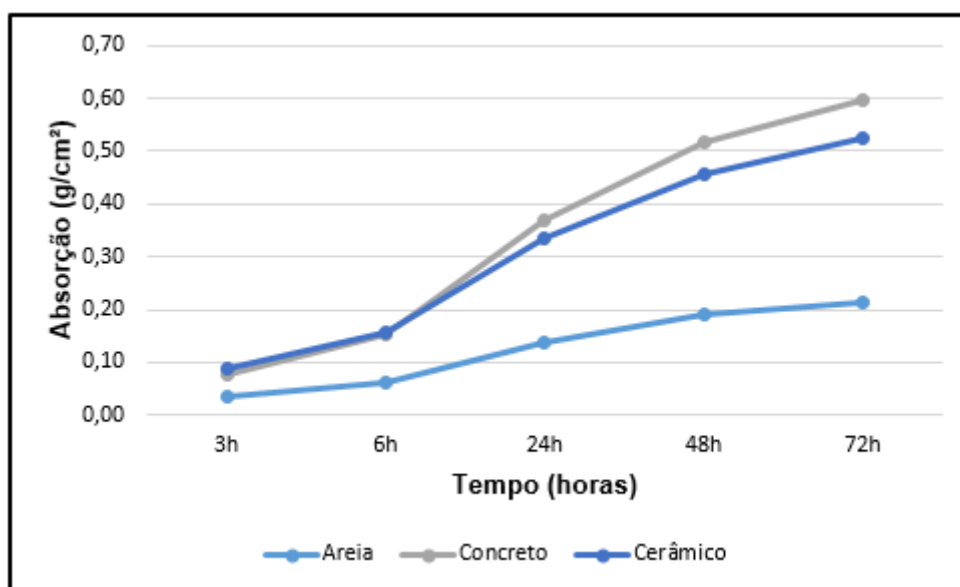
com finos de RCD. Santos (2018) cita que esta propriedade tende a reduzir com a substituição de agregados naturais por agregados reciclados em função da porosidade desse material, agindo, assim, na rigidez do concreto. Gesoglu *et al.* (2015), em seu estudo, observaram um decréscimo de módulo de elasticidade quando substituíram areia natural por agregado miúdo reciclado.

Sobre os concretos com finos de RCD, percebeu-se que o CAA com finos cerâmicos apresentou um resultado maior de módulo de elasticidade do que o CAA com finos de concreto. Santos (2018) também pôde notar esta característica em sua pesquisa.

#### 4.2.3 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi avaliada para as três configurações de concreto aos 28 dias. O Gráfico 7 mostra a comparação dos resultados de absorção obtidos no estudo.

Gráfico 7 – Comparativo dos resultados de absorção de água por capilaridade



Fonte: Da autora (2019).

Com base nos dados apresentados no Gráfico 7, observa-se que o CAA de referência obteve índices de absorção de água por capilaridade inferiores aos concretos com finos de RCD. De acordo com Leite (2001), para os agregados

convencionais, a taxa de absorção de água não desempenha influência significativa nas misturas de concreto, visto que os agregados apresentam pouca, ou nenhuma, porosidade. Porém, quando são empregados agregados reciclados na produção de concretos, esta influência aumenta, já que este material manifesta valores mais altos de absorção que os agregados naturais normalmente utilizados.

De um modo geral, verifica-se uma propensão de diminuição da absorção conforme se aumenta a resistência à compressão dos concretos (SANTOS, 2018). No estudo em questão esta característica se confirma, uma vez que o CAA com finos cerâmicos apresentou um resultado maior de resistência à compressão e índices menores de absorção de água por capilaridade do que o CAA com finos de concreto.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como foco principal avaliar a influência de dois diferentes tipos de finos de RCD (concreto e material cerâmico) nas propriedades mecânicas do CAA.

Com base na dosagem experimental realizada, averiguou-se que os concretos com finos de RCD alcançaram as propriedades de autoadensabilidade apenas com 10% de substituição do agregado miúdo natural. Logo, entende-se que não são necessários altos teores de agregados finos reciclados para o concreto autoadensável atingir suas características fundamentais.

Para reconhecimento do desempenho do concreto autoadensável em relação ao estado fresco, foram realizados os ensaios de espalhamento, tempo de escoamento ( $t_{500}$ ), anel J e funil V. Os resultados destes ensaios mostraram que todos os concretos são aceitáveis quanto às propriedades de autoadensabilidade. De modo geral, os três traços de CAA realizados, mostraram comportamentos semelhantes em relação ao seu desempenho no estado fresco.

Sobre o ensaio de espalhamento, as três configurações de CAA classificaram-se como SF 2, o que caracteriza a sua adequação para a maioria das aplicações correntes. Acerca do tempo de escoamento, os traços classificaram-se como VS 1, ou seja, são apropriados para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, porém com controle da exsudação e da segregação. Através do ensaio do anel J, pôde-se constatar que todas as configurações de CAA enquadraram-se na classe PJ 2, confirmando a sua adequação para a maioria das aplicações correntes, mas com elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 a 80 mm. Por meio do ensaio do funil V, pôde-se constatar que o CAA de referência e o CAA com

RCD de concreto enquadraram-se na classe VF 1, isto quer dizer que os concretos são apropriados para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos e em concretagens efetuadas no ponto mais alto com deslocamento livre, enquanto o CAA com RCD cerâmico classificou-se como VF 2, o que indica a sua adequação para a maioria das aplicações correntes.

Para reconhecimento do desempenho do concreto autoadensável no estado endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade.

A partir dos dados alcançados no ensaio de resistência à compressão, notou-se que a adição de finos de RCD ocasionou menores valores de resistência em comparação ao concreto no qual, em sua mistura, utilizou-se apenas agregados naturais. O CAA com RCD cerâmico apresentou valores, aproximadamente, 33% inferiores ao CAA de referência e o CAA com RCD de concreto resultou resistências com redução de aproximadamente 48% para o CAA de referência. Sobre os concretos com agregados reciclados, pode-se perceber que aquele com finos cerâmicos alcançou resultados superiores de resistência à compressão.

Ainda em relação às propriedades mecânicas dos concretos, constatou-se que o CAA de referência atingiu resultados superiores de módulo de elasticidade em comparação aos concretos com finos de RCD, enquanto o CAA de referência alcançou 29,81 GPa, o CAA com finos cerâmicos obteve 26,94 GPa e o CAA com finos de concreto obteve 21,04 GPa.

Baseando-se nos dados do ensaio de absorção de água por capilaridade, que está diretamente relacionado à durabilidade do concreto, percebeu-se que o CAA de referência obteve índices inferiores de absorção do que os concretos com finos de RCD, logo tende a contribuir para a maior durabilidade deste concreto. Este resultado se deve à porosidade que os agregados reciclados apresentam, enquanto os agregados naturais manifestam pouca ou nenhuma.

Através deste estudo, pôde-se analisar a influência dos finos de RCD no comportamento do CAA em relação às propriedades de autoadensabilidade, mecânicas e de durabilidade. Vale ressaltar a importância do controle de qualidade e uso de tecnologias de processamento mais desenvolvidas, almejando o alcance de

agregados reciclados de melhor qualidade. Avaliando-se os teores de substituição ou a porosidade dos agregados reciclados, faz-se possível seu emprego até no concreto estrutural. Por isso, da necessidade de mais estudos, a fim de comprovar ou acrescentar às pesquisas já existentes, fazendo do uso do RCD, uma prática confiável.

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se: investigar a influência da forma e da textura dos finos de RCD no CAA, através de uma análise microestrutural; verificar o consumo de cimento e os custos de concretos autoadensáveis executados com diferentes tipos de finos de RCD, com o propósito de obter um concreto com melhor custo/benefício.

## REFERÊNCIAS

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: 2005.

ANGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com agregados reciclados**. In: Livro Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, edição II, capítulo 47, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS\_\_\_\_\_. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.



\_\_\_\_\_. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 6: Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15900: Água para amassamento do concreto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

CABRAL, A, E, B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos: 2007.

CARRO-LÓPEZ, D. et al. **Study of the rheology og self-compacting with recycled concrete aggregates.** Construction and Building Materials, v. 96, p. 491-501, 2015.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, n. 136, 2002.

COUTINHO, B. S. **Propriedades e Comportamento Estrutural do Concreto Auto-Adensável.** Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: 2011.

EFNARC. EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. In: EFNARC, fevereiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **The European Guidelines for Self Compacting Concrete: Specification, Production and Use**. In: EFNARC, maio, 2005.

GESOGLU, M.; GÜNEYISI, E.; OZ, H.O.; TAHA, I.; YASEMIN, M. T. **Failure characteristics of self-compacting concretes made with recycled aggregates**. Construction and Building Materials, v. 98, p. 334-344, 2015.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009.

KARPINSKI, L.A.; PANDOLFO, A; PANDOLFO, L. M.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J. C. B; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos de construção civil - Uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

KHATIB, J. M. **Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate**. Cement and Concrete Research, v. 35, p. 763-769, 2005.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PCC.USP. São Paulo: 2001.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. **Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE)**. Artigo técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza: 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2014.

MURTAZAEV, S. A. Y; MINTSAEV, M. S.; SAYDUMOV, M. S.; ALIEV, S. A. **Strength and Strain Properties of Concrete, Comprising filler, Produced by Screening of Waste Crushed Concrete**. Modern Applied Science, v. 9, n. 4, p. 32-44, 2015.

NENO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production**. Materials Research, v. 17, n. 1, p. 168-177, 2014.

PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**.

Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: 2008.

SANTOS, I. L. **Uso de finos de resíduos de construção e demolição em concreto autoadensável.** Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI), UFRGS. Porto Alegre: 2018.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre: 2004.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: Pini, 2008.



**UNIVATES**

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09